

4. Злотин Г.Н., Гибадуллин В.З. Если водород подать в конце такта сжатия./ Автомобильная промышленность, № 11, 1995.
5. Бортников Л.Н. и др. Токсичность отработавших газов при добавке водорода./ XI симпозиум по горению и взрыву, Черногловка, 1996, 129–130с.

УДК 621.452.3.034

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИКАЦИЙ АВИАЦИОННОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ДЛЯ ГТД НАЗЕМНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Волков С.А.

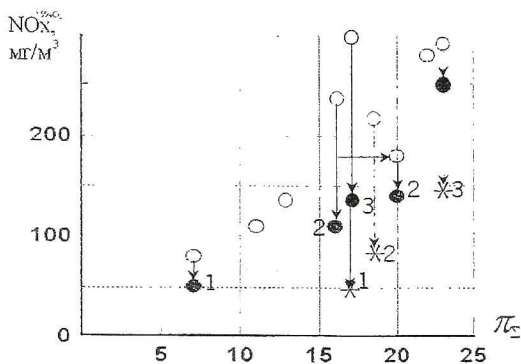
Центральный институт авиационного моторостроения, г. Москва

При конвертировании авиационных ГТД в двигатели наземного применения необходимо существенным образом модифицировать камеру сгорания (КС) в связи с заменой топлива, предъявлением более жестких экологических требований, необходимостью многократно увеличить ресурс и т.д. Отечественные предприятия обладают значительным опытом в этой области [1-3]. На рисунке 1 представлено обобщение данных по доработке авиационных КС с целью снижения выбросов (эмиссии) оксидов азота (NO_x) при сжигании газообразного топлива до нормируемого уровня - одного из основных требований к наземным установкам.

Прослеживается известная тенденция возрастания концентрации NO_x в продуктах сгорания с увеличением степени повышения давления π_x . Путем конструктивных доработок при сохранении типа КС удастся уменьшить концентрацию NO_x примерно в 2 раза от исходного уровня. В случае принципиального изменения типа КС удастся уменьшить концентрацию NO_x до меньшего уровня. Однако при этом возникает ряд сложных проблем с организацией рабочего процесса в таких камерах, увеличивается стоимость КС и системы топливоподачи, снижается надежность работы камеры и т.д. Поэтому естественным является желание сохранить тип КС и путем ее модификации и относительно простых конструктивных приемов достигнуть минимально возможных концентраций NO_x и оксида углерода (CO) при устойчивом процессе сжигания топлива.

Рис.1. Эмиссия NO_x от наземных ГТД

- - модифицированные авиационные КС
(1- Д-30, 2- ПС-90А, 3- Д-136, 4- НК-321)
- * - КС нетрадиционного типа
(1-регулируемая АИ-336, 2- многомодульная АЛ-31СТ, 3- двухзонная НК-36СТ)



В данной работе экспериментально исследовались модификации авиационной малоэмиссионной КС трубчатой схемы (рис. 2) в составе одnogорелочного отсека применительно к наземным ГТД. Исследовалось влияние различных конструктивных мероприятий, в первую очередь, на эмиссию NO_x и CO .

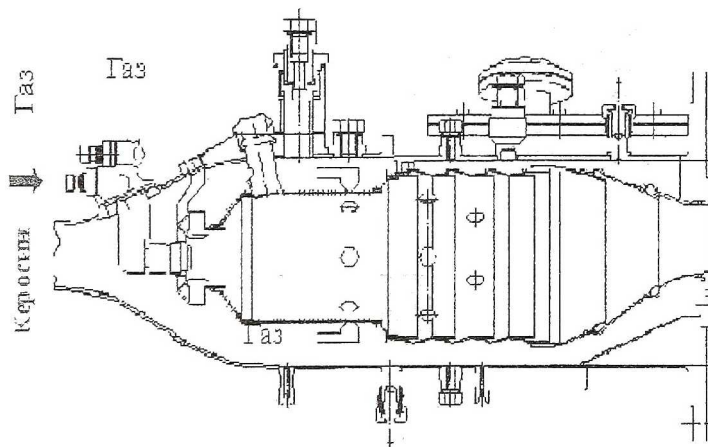


Рис.2. Модифицированная камера сгорания

Наиболее простыми мероприятиями изменением расположения и размеров основных отверстий в жаровой трубе - удалось снизить концентрацию NO_x (приведенную к 15 % O_2) при сжигании жидкого топлива до 100 mg/m^3 , т.е. до нормируемого уровня для энергетических ГТУ [4], в условиях $\pi_c \approx 9$ (рис. 3) . Однако при этом концентрация CO от исходного уровня 140 mg/m^3 (приведенная к 15 % O_2) увеличилась до 300 -

400 мг/м³ в рабочем диапазоне коэффициентов избытка воздуха $\alpha_k = 4$ 5.

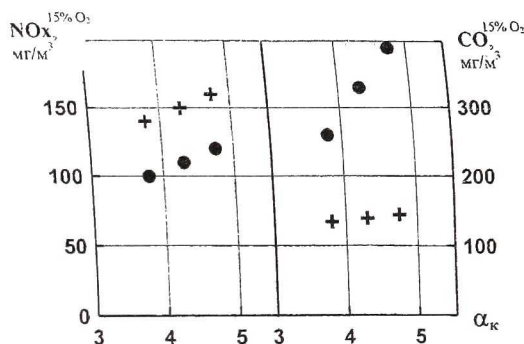


Рис. 3. Влияние положения основных отверстий на эмиссию вредных веществ:

+ и • - исходная и модифицированная КС

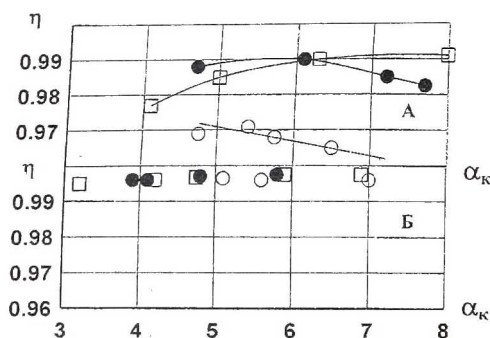


Рис. 4. Влияние подачи газа в завихритель на полноту сгорания топлива:

А - $P_k=330$ кПа, $T_k=430$ К; Б - $P_k=400$ кПа, $T_k=565$ К

○ и ● - через форсунку (газ и керосин)

□ - через форсунку и завихритель (газ)

Для повышения эффективности сжигания газообразного топлива (и, следовательно, уменьшения концентрации продукта недожога топлива CO) использовано частичное смешение газа с воздухом в радиальном завихрителе до подачи в зону горения. Это мероприятие позволило повысить полноту сгорания газа η на режиме малой мощности с 0,97 до 0,99 и обеспечить $\eta = 0,995$ для режимов с $T_k = 565$ К, соответствующей $p_{\Sigma} \approx 9$ (рис. 4).

В работе экспериментально исследовалось влияние места подвода газа на эмиссию оксидов азота NO_x и оксида углерода в условиях $P_k = 400$ кПа, $T_k = 565$ К. С этой целью подача газа осуществлялась через форсунку, через радиальный завихритель и 1-й ряд основных отверстий жаровой трубы (рис. 5 и 6). При подаче газа через форсунку (схема 1)

Рис.5. Влияние места подвода газа на эмиссию NO_x :

- - форсунка,
- - завихритель,
- ◇ - 1-й ряд основных отверстий

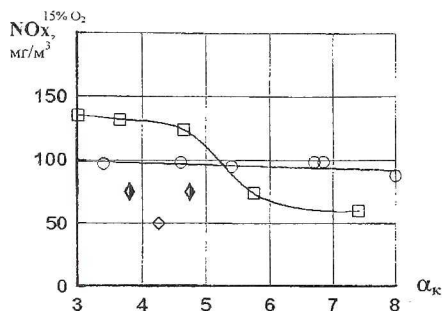
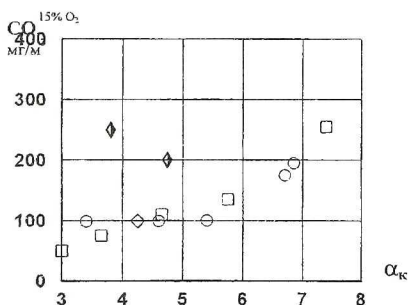


Рис.6. Влияние места подвода газа на эмиссию CO :

- - форсунка,
- - завихритель,
- ◇ - 1-й ряд основных отверстий



эмиссия NO_x сохранялась на постоянном уровне при изменении коэффициента избытка воздуха α_k от 3 до 8. При подаче газа через завихритель (схема 2) зависимость концентрации NO_x (далее $[NO_x]$) от α_k имеет более сложный вид: при $\alpha_k \leq 4,5$ $[NO_x]$ выше на 30 %, а при $\alpha_k \geq 6$ ниже на 30 % уровня концентрации, соответствующему подаче газа по схеме 1 (рис.5). В первом и втором случаях концентрация CO (далее $[CO]$) не зависит от схемы подачи газа и не превышает 300 мг/м³ (при $\alpha_k \leq 5,5$ $[CO] < 100$ мг/м³).

При подаче газа через 1-й ряд основных отверстий жаровой трубы (схема 3) наблюдается снижение $[NO_x]$ примерно на 20 % при коэффициенте избытка воздуха $\alpha_k = 3,8$ и $\alpha_k = 4,8$ и повышение $[CO]$ в пределах

300 мг/м³ (рис. 5 и 6) При подаче газа, предварительно смешанного с воздухом, в 1-й ряд отверстий при $\alpha_k = 4,3$ наблюдается 2-кратное снижение $[NO_x]$, по сравнению с подачей газа по схеме 1, и сохранение $[CO]$ на исходном низком уровне

В настоящее время поисковые эксперименты по выбору оптимальной модификации авиационной камеры сгорания продолжаются.

Однако выполненный объем испытаний и оценки экологических характеристик для разных условий работы камеры подтверждают возможность модификации авиационной камеры сгорания, обеспечивающей эмиссию оксидов азота и оксида углерода в пределах нормативных уровней для наземных ГТД [4,5] со степенью повышения давления $\pi_\Sigma \leq 9$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гриценко Е.А., Данильченко В.П., Резник В.Е. Проблемы и перспективы развития авиационных двигателей семейства "НК", конвертируемых в ГТУ наземного применения // Тезисы докладов XLVI научно-технической сессии по проблемам газовых турбин, г.Самара, 27-29 сентября 1999 г., С.8...10.
2. Марчуков Е.Ю. Конверсия короткоресурсного авиадвигателя для наземного применения // Тезисы докладов XLVI научно-технической сессии по проблемам газовых турбин, г.Самара, 27-29 сентября 1999 г., С.11...12.
3. Иноземцев А.А. Разработка и создание газотурбинных установок мощностью 2,2 - 25 МВт на базе авиадвигательных технологий // Тезисы докладов XLVI научно-технической сессии по проблемам газовых турбин, г.Самара, 27-29 сентября 1999 г., С.13...17.
4. ГОСТ 29328-92 Установки газотурбинные для привода турбогенераторов. Общие технические условия // Издательство стандартов, 1992
5. ГОСТ 28775-90 Агрегаты газоперекачивающие с газотурбинным приводом. Общие технические условия // Издательство стандартов, 1991